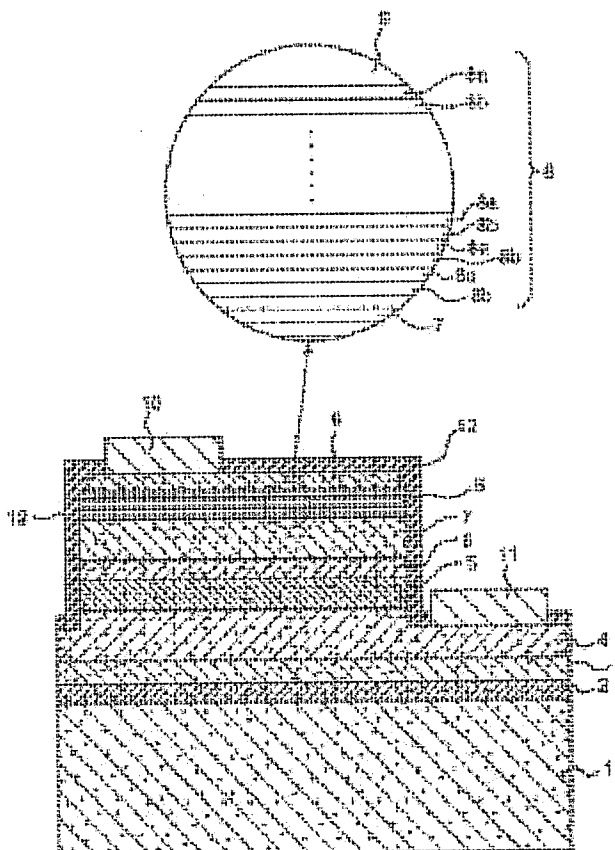




NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT

Also published as: ● JP 3680558 (B2)

SOLUTION: In a nitride semiconductor element provided with active layers between one or multiple p-type nitride semiconductor layers containing a p-type contact layer 8 and one or multiple n-type nitride semiconductor layers, the contact layer 8 has a superlattice structure, in which first and second nitride semiconductor layers 8a and 8b having different compositions, are laminated alternately upon each other, and at least the first nitride semiconductor layers 8a of the two nitride semiconductor layers 8a and 8b contain In.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-340509

(43)公開日 平成11年(1999)12月10日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数10 F D (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平10-161452

(22)出願日 平成10年(1998)5月25日

(71)出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者 三谷 友次

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72)発明者 中河 義典

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

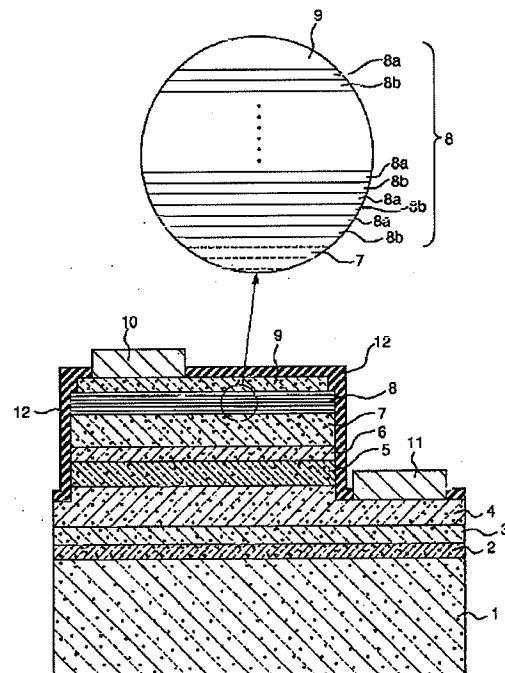
(74)代理人 弁理士 豊栖 康弘 (外1名)

(54)【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57)【要約】

【課題】 安定した低い動作電圧で高い出力が得られる窒化物半導体素子を提供する。

【解決手段】 p型コンタクト層を含む1又は多層のp型窒化物半導体層と1又は多層のn型窒化物半導体層との間に活性層を備えた窒化物半導体素子において、p型コンタクト層は、互いに組成の異なる第1と第2の窒化物半導体層が交互に積層された超格子構造を有し、2つの窒化物半導体層のうち少なくとも第1の窒化物半導体層はInを含んでいる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 p型コンタクト層を含む1又は多層のp型窒化物半導体層と1又は多層のn型窒化物半導体層との間に活性層を備えた窒化物半導体素子において、上記p型コンタクト層は、互いに組成の異なる第1と第2の窒化物半導体層とを含む層が順次積層された超格子構造を有し、上記2つの窒化物半導体層のうち少なくとも第1の窒化物半導体層はInを含んでいることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 上記第1の窒化物半導体層と上記第2の窒化物半導体層との間に、上記第1の窒化物半導体層の組成から上記第2の窒化物半導体層の組成へと組成が連続的に変化する組成傾斜層を形成した請求項1記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 上記第1と第2の窒化物半導体層はそれぞれInを含んでなり、上記第1の窒化物半導体層のInの含有量が上記第2の窒化物半導体層のInの含有量に比較して大きい請求項1又は2記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 上記第1の窒化物半導体層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなり、上記第2の窒化物半導体層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y < 1$) からなる請求項1又は2記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】 上記第1の窒化物半導体層と上記第2の窒化物半導体層のうちのいずれか一方にはp型不純物がドーパされ、他方には、p型不純物がドーパされていない請求項1～4のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】 上記第1の窒化物半導体層と上記第2の窒化物半導体層のうちのいずれか一方には $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲のp型不純物がドーパされ、他方には $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲であってかつ上記一方の窒化物半導体層より少ない量のp型不純物がドーパされている請求項1～4のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項7】 上記第1の窒化物半導体層が最表面に形成され、かつp側電極が上記最表面に形成された該窒化物半導体層に接するように形成されている請求項1～6のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項8】 上記第1の窒化物半導体層のp型不純物濃度は、上記第2の窒化物半導体層より大きい請求項7記載の窒化物半導体素子。

【請求項9】 上記活性層と上記p型コンタクト層との間にAlを含む窒化物半導体からなるp型クラッド層を備えた請求項1～8のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項10】 上記p型クラッド層は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$) からなる層と $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y < 1$) からなる層とが交互に積層された超格子構造を有する請求項9に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は発光ダイオード素子、レーザダイオード素子等の発光素子、太陽電池、光センサ等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイス等に用いられる窒化物半導体素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、窒化ガリウム系化合物半導体にMg等の型不純物を添加して熱処理をすることにより、p型の導電性を有する窒化物半導体層の作製が可能となり、窒化物半導体を用いた発光素子が実用化された。この発光素子によって、青色の光を発光が可能となり、該発光素子は、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナ等の各種光源としてその市場を拡大しつつある。

【0003】従来、この窒化物半導体を用いた発光素子において、p側電極が形成されるp型コンタクト層は、GaNが用いられていたが、最近では、特開平8-97468号公報に開示されているように、p型コンタクト層としてバンドキャップエネルギーが、GaNに比較して小さい、InGaNを用いることが検討されている。これによって、バンドキャップエネルギーが小さいInGaNを用いることにより、p型コンタクト層とp側電極との間の障壁を低くして良好なオーミック接触を得ようとするものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、InGaNは、欠陥の少ない結晶性の良い膜を成長させることが難しく、期待通りの十分低い接触抵抗を有するオーミック接触を得ることは困難であった。また、成長されたInGaN層の結晶性がバラツクために接触抵抗が安定しないという問題点があった。そのために、InGaNからなるp型コンタクト層を備えた従来の窒化物半導体素子は、十分低くかつ安定した動作電圧と高い出力を得ることが困難であった。このために、例えば、InGaNからなるコンタクト層を用いてLED素子を構成した場合、20mAにおける順方向電圧(Vf)は、3.4V～3.8Vと十分低くできず、かつそのバラツキが大きいという問題点があった。

【0005】そこで、本発明は、p側電極とp型コンタクト層との接触抵抗を小さくでき、安定した低い動作電圧で高い出力が得られる窒化物半導体素子を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、Inを含むp型コンタクト層を超格子構造とすることにより、欠陥の少ない結晶性のよいp型コンタクト層を形成することができるを見出して完成したものである。すなわち、本発明に係る窒化物半導体素子は、p型コンタクト層を

含む1又は多層のp型窒化物半導体層と1又は多層のn型窒化物半導体層との間に活性層を備えた窒化物半導体素子において、上記p型コンタクト層は、互いに組成の異なる第1と第2の窒化物半導体層が交互に積層された超格子構造を有し、上記2つの窒化物半導体層のうち少なくとも第1の窒化物半導体層はInを含んでいることを特徴とする。

【0007】また、本発明の窒化物半導体素子では、上記第1の窒化物半導体層と上記第2の窒化物半導体層との間に、上記第1の窒化物半導体層の組成から上記第2の窒化物半導体層の組成へと組成が連続的に変化する組成傾斜層を形成することが好ましく、これにより、さらにp型コンタクト層の結晶性を良好にできる。

【0008】上記第1の窒化物半導体層のInの含有量を上記第2の窒化物半導体層のInの含有量に比較して大きくすることが好ましい。このようにすると、p型コンタクト層の抵抗をより低くできる。

【0009】また、本発明の窒化物半導体素子において、上記2つの窒化物半導体層のうち的一方をInを含む層とする場合、一方の上記第1の窒化物半導体層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる層とし、他方の第2の窒化物半導体層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ からなる層とすることが好ましい。

【0010】さらに、本発明の窒化物半導体素子において、上記第1の窒化物半導体層及び上記第2の窒化物半導体層のうちのいずれか一方にp型不純物をドーピングし、他方にはp型不純物をドーピングしないようにしてもよい。

【0011】また、本発明の窒化物半導体素子において、上記第1及び第2の窒化物半導体層にそれぞれp型不純物をドーピングする場合、一方の窒化物半導体層には $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ の範囲のp型不純物をドーピングし、他方の窒化物半導体層は $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の範囲であってかつ上記一方の窒化物半導体層より少ない量のp型不純物がドーピングされていることが好ましい。

【0012】また、本発明の窒化物半導体素子において、上記第1の窒化物半導体層が最表面に形成され、かつp側電極が上記表面に形成された該窒化物半導体層に接するように形成されていることが好ましい。また、この場合、上記第1の窒化物半導体層のp型不純物濃度が、上記第2の窒化物半導体層より大きくなるようにすることが好ましい。

【0013】本発明の窒化物半導体素子においてさらに、上記活性層と上記p型コンタクト層との間にAlを

含む窒化物半導体からなるp型クラッド層を備えていてもよい。

【0014】本発明の窒化物半導体素子においては、上記p型クラッド層は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$) からなる層と $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y < 1$) からなる層とが交互に積層された超格子構造を有することが好ましい。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明に係る実施の形態について説明する。

実施の形態1. 本発明に係る実施の形態1の窒化物半導体発光素子は、図1に示すように、例えばサファイアからなる基板1上に、バッファ層2を介して、第1n側窒化物半導体層3、第2n側窒化物半導体層4、第3n側窒化物半導体層5、活性層6、p側クラッド層7及びp側コンタクト層8が順次形成されて構成される。尚、本実施の形態1において、p側コンタクト層8の上面のほぼ前面には、透光性のp電極9が形成され、p電極上の一部にボンディング用のpパッド電極10が形成される。また、発光素子の片側において、第2n側窒化物半導体層4の表面が露出され、その露出部分には、n電極11が形成されている。

【0016】ここで、特に本実施の形態1では、p側コンタクト層8が、互いに組成の異なる第1の窒化物半導体層8aと第2の窒化物半導体層8bが交互に積層された超格子構造を有し、上記2つの窒化物半導体層のうち少なくとも第1の窒化物半導体層8aはInを含んでいることを特徴とする。このように、p側コンタクト層8を構成する上記2つの窒化物半導体層のうち少なくとも一方の第1の窒化物半導体層8aがInを含んでいて、かつ第1と第2の窒化物半導体層8a、8bとが交互に積層された超格子構造とすることにより、極めて欠陥の少ない結晶性の良好なp型コンタクト層8を形成することができる。これによって、超格子構造でない単層の InGaN からなる従来例に比較して、それ自身の抵抗値が低くかつp電極9と良好なオーミック接触させることができるp側コンタクト層8を形成することができる。

【0017】さらに、詳細に説明すると、本実施の形態1において、p型コンタクト層8は例えば、以下の表1に示す第1の窒化物半導体層8aと第2の窒化物半導体層8bとを組み合わせることにより構成することができる。

【0018】

【表1】

| | 第1の窒化物半導体層8a | 第2の窒化物半導体層8b |
|---|--------------------------------------|--|
| 1 | $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ | GaN |
| 2 | $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ | $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N} (x > y)$ |
| 3 | $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ | $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N} (0 < z < 1)$ |

【0019】ここで、本実施の形態1において、結晶欠陥の少ない第1の窒化物半導体層8aを形成するために、表1の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ は、好ましくは $x < 0.5$ に設定され、より好ましくは $x < 0.4$ 、さらに好ましくは $x < 0.3$ に設定される。また、本発明において、p型コンタクト層の膜厚は、厚さが厚いほど厚さ方向の抵抗値が高くなるので、好ましくは $0.1\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは 500\AA 以下、さらに好ましくは 200\AA 以下に設定する。また、p型コンタクト層を構成する第1と第2の窒化物半導体層の膜厚はそれぞれ、好ましくは 100\AA 以下、より好ましくは 70\AA 以下、さらに好ましくは 50\AA 以下に設定する。尚、最も好ましくは、 $10\sim 40\text{\AA}$ の範囲に設定する。

【0020】p型コンタクト層を構成する第1と第2の窒化物半導体層8a、8bの膜厚を 100\AA 以下に設定するのは、第1と第2の窒化物半導体層8a、8bの膜厚が、 100\AA より厚いと各窒化物半導体層が弾性歪限界以上の膜厚となり、膜中に微小のクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすくなり、超格子構造とする効果が効果的に発揮できないからである。また、本発明において、第1と第2の窒化物半導体層8a、8bは、少なくとも1原子層以上であればよいが、好ましくは上述のように 10\AA 以上に設定する。

【0021】また、本発明では、第1の窒化物半導体層8aと第2の窒化物半導体層8bの少なくともいずれか一方にMg等のp型不純物が添加され、p型コンタクト層全体としてp型導電性を示すようにすればよい。また、第1の窒化物半導体層8a及び第2の窒化物半導体層8bの双方にp型不純物をドーピングする場合、一方の窒化物半導体層のp型不純物濃度を他方の窒化物半導体層の不純物濃度に比較して高くする（以下、変調ドーピングという。）ことが好ましい。

【0022】このように、第1と第2の窒化物半導体層8a、8bのうち、一方の不純物濃度を他方に比較して高く設定することにより、不純物濃度が高い一方の窒化物半導体層においてキャリア多く発生させることができ、不純物濃度の低い他方の窒化物半導体層における移動度を一方の窒化物半導体層に比較して高くできる。これによって、第1と第2の窒化物半導体層8a、8bとが積層された超格子層全体としてのキャリア濃度と移動度とをともに高くできるので、p型コンタクト層8の抵

抗値を低くできる。従って、本実施の形態1の窒化物半導体発光素子は、p型コンタクト層8においてさらに、上述のような変調ドーピングをすることにより、所定の電流値における順方向電圧を低くできる。

【0023】また、上述のように変調ドーピングする場合、一方の窒化物半導体層には $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ の範囲のp型不純物をドーピングし、他方の窒化物半導体層は $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の範囲であってかつ一方の窒化物半導体層より少ない量のp型不純物がドーピングされていることが好ましい。窒化物半導体層に対して $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ より多い量のp型不純物を添加すると、結晶性が悪化して抵抗値が高くなりかつ良好なオーミック接触を得ることが難しくなるからであり、 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ より少ないと十分なキャリア濃度が得られず出力が低下するからである。

【0024】また、本発明において、p型コンタクト層8において、第1の窒化物半導体層8a又は第2の窒化物半導体層8bのいずれの層を最上層にしてもよく、いずれの層でp側クラッド層7と接するようにしても良い。しかしながら、本発明では、Inを含む第1の窒化物半導体層8aを最上層にし、その第1の窒化物半導体層8aの上にp電極を形成するように構成することが好ましい。このようにすることで、p型コンタクト層8とp電極とのオーミック接触抵抗を小さくできる。すなわち、第1の窒化物半導体層8aは、Inを含んでいる分又はInを多く含んでいる分、第2の窒化物半導体層8bに比較してバンドギャップを小さくすることができ、p電極を構成する金属の伝導帯の下端のエネルギー準位と、第1の窒化物半導体層8aの価電子帯の上端のエネルギー準位との差を小さくできるので、オーミック接触抵抗を小さくできる。

【0025】また、実施の形態1の窒化物半導体発光素子においては、上記p型クラッド層は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$) からなる層と $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y < 1$) からなる層とが交互に積層された超格子構造を有することが好ましい。このp型クラッド層を構成する各層の膜厚は、好ましくは弾性歪限界の 100\AA 以下に設定し、より好ましくは 70\AA 以下、さらに好ましくは 50\AA 以下に設定する。尚、最も好ましくは、 $10\sim 40\text{\AA}$ の範囲に設定する。このようにp型クラッド層を超格子構造とすることにより、p型クラッド層の抵抗値を低く

することができる。尚、p型クラッド層7の全体としての膜厚は、好ましくは100Å以上で2μm以下、さらに好ましくは500Å以上で1μm以下に設定される。このような膜厚に設定することにより、良好なキャリア閉じ込め層として動作させ、かつp型クラッド層7の全体としての抵抗値を比較的低くできる。

【0026】実施の形態2. 本発明に係る実施の形態2の窒化物半導体素子は、図2に示すように、p型コンタクト層8においてさらに、第1の窒化物半導体層8aと第2の窒化物半導体層8bとの間に組成傾斜層8cを形成した点で、実施の形態1と異なる他は、実施の形態1と同様に構成される。ここで、組成傾斜層8cとは、第1の窒化物半導体層8aの組成から第2の窒化物半導体層8bの組成へと、除除に変化するように厚さ方向に組成を連続的に変化した層をいう。例えば、第1の窒化物半導体層8aを $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ とし第2の窒化物半導体層8bをGaNとした場合、組成傾斜層8cは、図2(b)に示すように、第1の窒化物半導体層8aに接する面から第2の窒化物半導体層8bに接する面に向かって厚さ方向に、Inの組成比(x)が徐々に減少する層とする。尚、本実施の形態2において、組成傾斜層8cは、その組成比が徐々に減少する層であればよく、必ずしも図2(b)に示すように、厚さに対して組成が直線的に変化する必要はない。

【0027】以上のように構成された実施の形態2の窒化物半導体素子は、第1の窒化物半導体層8aと第2の窒化物半導体層8bとの境界で組成が不連続に変化していないので、層の成長時に第1の窒化物半導体層8aと第2の窒化物半導体層8bの境界において特定の元素の偏析を防止できる。このように、特定の元素の偏析を防止できる結果、結晶欠陥のより少ない第1の窒化物半導体層8aと第2の窒化物半導体層8bとを成長させることができる。上述の第1の窒化物半導体層8aを $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ とし第2の窒化物半導体層8bをGaNとした例では、第1の窒化物半導体層8aと第2の窒化物半導体層8bとの間におけるInの偏析を防止することができ、結晶性を良好にできる。

【0028】

【実施例】以下、図1を参照しながら、本発明に係る窒化物半導体発光素子の製造方法について実施例を用いて説明する。

【0029】実施例1. サファイア(表面がC面となるようにカットされたもの)よりなる基板1を反応容器内にセットし、容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。基板1にはサファイアC面の他、R面、A面を主面とするサファイア、その他、スピネル(MgAl_2O_4)のような絶縁性の基板の他、SiC(6H、4H、3Cを含む)、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0030】(バッファ層2) 続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板1上にGaNよりなるバッファ層2を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0031】(第1n側窒化物半導体層3) バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaNよりなる第1n側窒化物半導体層3を5μmの膜厚で成長させる。第1n側窒化物半導体層3はバッファ層2よりも高温、例えば900℃~1100℃で成長させることが好ましく、GaN以外にも、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) で構成することもできるが、好ましくはGaN又、X値が0.2以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ を用いるとより結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。また、バッファ層よりも厚膜で成長させることが好ましく、通常0.1μm以上の膜厚で成長させる。この層は通常アンドープ層とするためその性質は真性半導体に近く、抵抗率は $0.2\Omega \cdot \text{cm}$ よりも大きい。Si、Ge等のn型不純物を第2n側窒化物半導体層よりも少ない量でドーピングして抵抗率を低下させた層としても良い。

【0032】(第2n側窒化物半導体層4) 続いて1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層を20オングストロームの膜厚で成長させ、続いてシランガスを追加しSiを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングしたGaN層を20オングストロームの膜厚で成長させ、そしてSiを止めてアンドープGaN層を20オングストロームの膜厚で成長させる。このようにして、20オングストロームのアンドープGaN層からなるA層と、SiドーピングGaN層を20オングストロームからなるB層とからなるベアを成長させる。そしてそのベアを積層して、変調ドーピングGaNよりなる1μm厚の第2n側窒化物半導体層4を成長させる。

【0033】(第3n側窒化物半導体層5) 次にシランガスのみを止め、1050℃で同様にしてアンドープGaNよりなる第3n側窒化物半導体層5を100オングストロームの膜厚で成長させる。この第3n側窒化物半導体層5もGaN以外にも $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaN又はx値が0.2以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、あるいはy値が0.1以下の $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ とするとより結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られる。InGaNを成長させると、その上にAlを含む窒化物半導体を成長させる場合に、Alを含む窒化物半導体層にクラックが入るのを防止することができる。

【0034】(活性層6) 次に、温度を800℃にして、キャリアガスを窒素に切り替え、TMG、TM1

(トリメチルインジウム)、アンモニアを用いアンドープ $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層を30オングストロームの膜厚で成長させて単一量子井戸構造を有する活性層6を成長させる。なおこの層は InGaN よりなる井戸層を有する多重量子井戸構造としても良い。

【0035】(p側クラッド層7)次に、温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、アンモニア、 $\text{Cp}2\text{Mg}$ (シクロペンタジエチルマグネシウム)を用い、 Mg を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる層を20Åの厚さに成長させた後、TMG、アンモニア、 $\text{Cp}2\text{Mg}$ を用い、 Mg を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型 GaN よりなる層を20Åの厚さに成長させる。以下同様の工程を交互に繰り返すことにより、総膜厚0.8μmの超格子層からなるp側クラッド層を形成する。

【0036】(p側コンタクト層8)次に、800℃において、アンドープ $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる第1の窒化物半導体層を30Å、続いて、TMIを止め Mg を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした GaN よりなる第2の窒化物半導体層を30Å成長させる。そして交互に積層し、総膜厚600Åのp側コンタクト層8を成長させる。

【0037】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p側の各層をさらに低抵抗化する。

【0038】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層8の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE(反応性イオンエッチング)装置でp側コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すように第2の窒化物半導体層4の表面を露出させる。

【0039】エッチング後、最上層にあるp側コンタクト層のほぼ全面に膜厚200オングストロームの Ni と Au を含む透光性のp電極9と、そのp電極9の上にボンディング用の Au よりなるpパッド電極10を0.5μmの膜厚で形成する。一方エッチングにより露出させた第2n側窒化物半導体層4の表面には W と Al を含むn電極11を形成する。最後にp電極9の表面を保護するために SiO_2 よりなる絶縁膜12を図1に示すように形成した後、ウェーハをスクライブにより分離して350μm角のLED素子とする。

【0040】このLED素子は20mAにおいて順方向電圧3.2V、520nmの緑色発光を示し、20mAにおける V_f を0.2~0.3V低下させることができ、出力を10%以上向上させることができた。また、実施例で示したLED素子を100個作製して、20mAにおける順方向電圧 V_f を測定した結果、それらの V_f は、3.2V~3.3Vの範囲に分布しており、極めてバラツキを少なくできた。

【0041】実施例2. 実施例1において、p側コンタ

クト層を成長させる際、アンドープ $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層と、 Mg を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした GaN との積層順序を逆にした以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作製した。

【0042】実施例3. 実施例1において、p側コンタクト層を成長させる際、第2の窒化物半導体の組成を $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層とする以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作製した。

【0043】実施例4. 実施例1において、p側コンタクト層を成長させる際、第2の窒化物半導体層を Mg を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層とした以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作製した。

【0044】実施例5. 実施例1において、p側コンタクト層を成長させる際、第2の窒化物半導体層を Mg を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層とした以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作製した。

【0045】実施例6. 実施例1において、p側コンタクト層を成長させる際、第1の窒化物半導体層に Mg を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作製した。

【0046】以上の実施例2~6のLED素子も、実施例1と同様、従来例に比較して良好な発光特性が得られた。

【0047】また、従来の InGaN からなるp側コンタクト層では、 InGaN が比較的波長の短い領域で光の吸収が大きいために、該p側コンタクト層が黄色に着色し、活性層で発生した光の波長が、長波長側にシフトするという問題があった。しかしながら、本発明のp側コンタクト層は、超格子構造としているので、単層で構成した従来の InGaN からなるp側コンタクト層に比較して、波長の短い光の吸収率を小さくできる。従って、本発明におけるp側コンタクト層は、光の長波長側へのシフトを防止でき、光の透過率も向上させることができる。

【0048】図3は、 GaN と InGaN からなる本発明の超格子構造の多層膜の、波長に対する光の透過率を示すグラフである。該多層膜は、 GaN (20Å)と InGaN (20Å)とを交互に30周期積層されてなり、 Mg がドープされ $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のキャリア濃度を有するp型の層である。また、図3には、比較のために単層の $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ (膜厚0.12μm)からなる従来例の光透過率も示している。図3に示すように、本発明の超格子構造の多層膜と従来例の単層膜とは波長が400nm付近の光に対する吸収率が顕著に相違し、本発明の超格子構造の多層膜は、波長が400nm付近の光に対する透過率が優れていることがわかる。尚、図3に示す本発明の超格子構造の多層膜と従来例の単層膜の各低効率 ρ は、いずれも $0.5\Omega \cdot \text{cm}$ であつ

た。また、図3における透過率は、サファイア基板の光の透過率を100%とした相対値で示した。

【0049】以上の実施の形態及び実施例において、LED素子である窒化物半導体発光素子を用いて説明したが、本発明はLED素子に限定されるわけではなく、レーザダイオード素子等の他の発光素子に適用することができる。また、本発明は発光素子に限定されるものではなく、窒化物半導体を用いて構成される、太陽電池、光センサ等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイス等にも適用することができる。

【0050】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明に係る窒化物半導体素子は、互いに組成の異なる第1と第2の窒化物半導体層が交互に積層された超格子構造を有し、上記2つの窒化物半導体層のうち少なくとも第1の窒化物半導体層はInを含んでいるp型コンタクト層を備えている。これによって、本発明の窒化物半導体素子においては、欠陥の少ない結晶性のよいp型コンタクト層を形成することができ、p型コンタクト層自身の抵抗値を低くできかつp側電極とp型コンタクト層との接触抵抗を小さくできるので、安定した低い動作電圧で高い出力が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る実施の形態1の窒化物半導体発光素子の構成を示す模式的な断面図である。

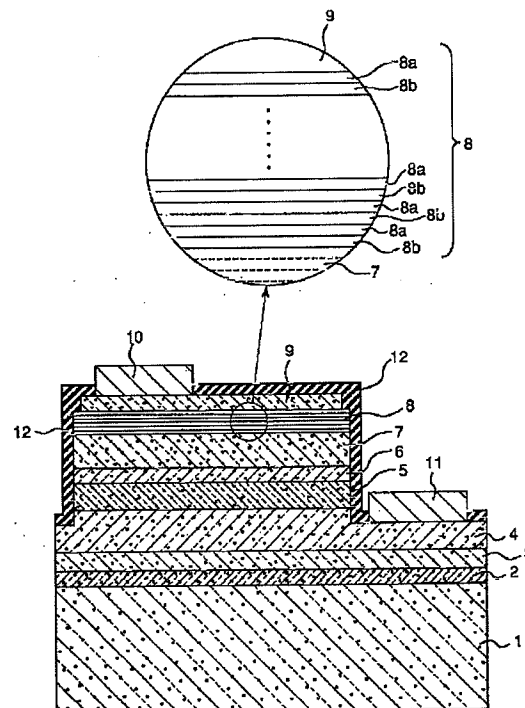
【図2】 本発明に係る実施の形態2の窒化物半導体発光素子におけるp側コンタクト層の構成を示す模式的な断面図である。

【図3】 本発明における多層膜（p側コンタクト層）の波長に対する光吸収率を示すグラフである。

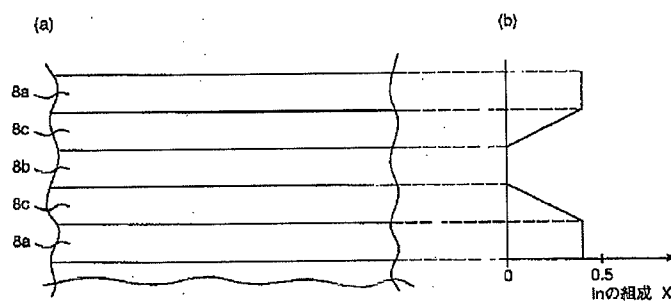
【符号の説明】

- 1…基板1、
- 2…バッファ層、
- 3…第1n側窒化物半導体層、
- 4…第2n側窒化物半導体層、
- 5…第3n側窒化物半導体層、
- 6…活性層、
- 7…p側クラッド層、
- 8…p側コンタクト層、
- 8a…第1の窒化物半導体層、
- 8b…第2の窒化物半導体層、
- 8c…組成傾斜層、
- 9…p電極、
- 10…pパッド電極、
- 11…n電極、

【図1】



【図2】



【図3】

